

10/581618

PCT/JP2004/017869

WO 2005/056210

1

AP3 Rec'd PCT/PTO 05 JUN 2006

明 細 書

スピニング加工方法及び装置

技術分野

- [0001] 本発明は、スピニング加工の方法及び該方法を実施するための装置に関するものである。

背景技術

- [0002] スピニング加工は成形型に板材のワークをセンタリングして成形型とともに回転させ、それを加工ローラで押し付けて成形加工を行う方法であり、金属板を素材とする製品の成形加工法として、従来から、各種の部品や製品の製造に広く用いられている。
- [0003] スピニング加工では成形型およびワークを回転させながら加工するため、一般には成形型回転軸方向への加工ローラのある送り量に対して、成形型半径方向の加工ローラ位置は一定に保たれる。そのため従来は回転軸に直交する断面形状が回転軸を中心とする円形となる製品しか加工することができなかった。
- [0004] 加工ローラを油圧シリンダにより一定の力でワークに押し付けることによって加工ローラを成形型に倣わせ、断面が円形以外の製品を加工する方法も発明されている(特許文献1参照)。
- [0005] さらに、別の方法としては、製品の形状データを加工の前に予め記憶し、それに基づいて加工ローラを前進または後退させて、断面が円形でない製品を加工する方法も発明されている(特許文献2参照)。

特許文献1:特許第1732924号公報

特許文献2:特願2001-379875

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0006] しかし、特許文献1記載の方法では、成形型の半径方向長さの変化に油圧シリンダ伸縮の応答が追いつくように、成形型およびワークの回転速度を通常よりも低く抑える必要があり、加工速度が極端に低下する原因となるという問題があった。
- [0007] 又、特許文献2記載の方法では加工前に成形型を精密に測定する必要があり、ま

BEST AVAILABLE COPY

WO 2005/056210

2

PCT/JP2004/017869

た測定結果の3次元形状データは莫大な記憶容量を必要とするという問題があった。

[0008] 本発明は、従来のスピニング加工における上記問題点を解決することを目的とするものであり、回転軸に直交する断面形状が多角形・楕円など円形ではない製品を、加工速度を極端に低下させることなく、また製品の3次元形状データを用いずに、スピニング加工するための方法及び装置を実現することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明は上記課題を解決するために、回転する成型型に板材のワークを加工ローラで押し付けて成形加工を行うスピニング加工において、前記加工ローラに装着した力センサからのフィードバック信号により前記加工ローラのアクチュエータを駆動して前記加工ローラの押し付け力を制御し、成型型の断面形状に倣って前記ワークを成形することにより、回転軸に直交する断面の形状が円形ではない製品をも成形可能とすることを特徴とするスピニング加工方法を提供する。

[0010] 前記成形加工中の前記加工ローラの運動を記憶し、前記成型型の一回転前の時点からの前記加工ローラの運動に基づいて前記加工ローラが前記ワークに接している点の付近の成型型形状を推測し、それに応じて前記成型型を回転させるモータの回転速度を調整して加工を行うことを特徴とする。

[0011] 前記成型型の前面と連続した形状の治具を用いて、該成型型と前記治具の間に前記ワークを挟んで固定し、最初に加工ローラを治具に押し付けながら前記成型型の回転軸方向に前記加工ローラを送ることにより、前記ワークの加工をスムーズに開始することを特徴とする。

[0012] 本発明は上記課題を解決するために、力センサが装着された加工ローラと、該加工ローラを駆動するアクチュエータとを備えており、前記アクチュエータで加工ローラを駆動して板材のワークを回転する成型型に押し付けて成形加工を行うスピニング加工装置において、前記アクチュエータは、前記力センサからのフィードバック信号により前記加工ローラの押し付け力を制御し、前記加工ローラが、前記成型型の断面形状に倣って前記ワークを成形し、前記成型型の回転軸に直交する断面の形状が円形ではない製品をも成形可能とする構成であることを特徴とするスピニング加工

WO 2005/056210

3

PCT/JP2004/017869

装置を提供する。

- [0013] 前記成形加工中の前記加工ローラの運動は記憶され、前記成形型の一回転前の時点からの前記加工ローラの運動に基づいて前記加工ローラが前記ワークに接している点の付近の成形型形状を推測し、それに応じて前記成形型を回転させるモードの回転速度が調整される構成であることを特徴とする。
- [0014] 前記成形型の前面と連続した形状であり、該成形型との間に前記ワークを挟んで固定することのできる治具が設けられており、最初に前記加工ローラを治具に押し付けながら前記成形型の回転軸方向に前記加工ローラが送られ、前記ワークの加工がスムーズに開始される構成であることを特徴とする。

発明の効果

- [0015] 本発明に係るスピニング加工方法及び装置によれば、次のような効果が生じる。
- (1) 回転軸に直交する断面形状が多角形・楕円など円形ではない製品のスピニング加工が可能となる。加工ローラは力センサからのフィードバック信号に応じて前進／後退するため、加工ローラには過大な力が加わらない。
- [0016] (2) 成形型の半径の変動が小さい区間では成形型の回転速度を上げられる一方、半径の変動が大きい角の部分も正確に加工できるなど、適切な速度で加工を行い全体の加工時間を短縮することができる。
- [0017] (3) 最初から加工ローラの押し付け力の制御を用いたまま、スムーズにワークの加工を開始することができる。

発明を実施するための最良の形態

- [0018] 本発明を実施するための最良の形態を実施例に基づいて図面を参照して、以下説明する。

実施例 1

- [0019] 以下、図1は、本発明のスピニング加工方法を行う装置の実施例の概略図である。本発明は、加工ローラ5と、加工ローラ5を駆動し前後左右に移動させることのできるアクチュエータとを備えている。成形型3の前面と連続した形状の治具2が設けられており、ワーク1は、治具2と成形型3に挟まれて固定され、主軸モータ4によって成形型3とともに回転する。主軸モータ4は回転角度を検出するエンコーダなどの角度セン

WO 2005/056210

4

PCT/JP2004/017869

サを備えている。

- [0020] 加工ローラ5は、ボールねじや油圧シリンダなどのアクチュエータ(図示せず)で駆動される直動テーブル6によって、成型型3の半径方向に前進あるいは後退する。また、直動テーブル6は、直動テーブル7によって成型型3の回転軸方向に前進あるいは後退する。各直動テーブル6、7は、送り量を検出するエンコーダなどの変位センサ(図示せず)を備えるものとする。
- [0021] また加工ローラ5は、力センサ8を備え、ワーク1に加える加工力を検出できる。加工ローラ5によりワーク1を成型型3に押し付け、初期形状である平板1aから最終的には成型型3に沿った形状1bにワーク1を加工する。
- [0022] 成型型3の回転軸に直交する断面形状が回転軸を中心とする円でない場合、半径方向の長さは回転角に応じて変動する。そこで、半径方向に関しては加工ローラ5のワーク1に対する押し付け力を制御し、成型型3の半径方向の変動に加工ローラ5を倣わせる。
- [0023] 図2は、加工ローラ5に作用する力の関係を示す図である。加工ローラ5に作用する力Fは成型型3の側面に対する法線方向の力 F_n と接線方向の力 F_t に分解される。本発明では法線方向の力 F_n がワーク1に対する目標押し付け力 F_{nd} と等しくなるように加工ローラ5の半径方向押し付け力 F_Y を力制御する。また成型型3の回転軸方向への加工ローラ5の変位 X が目標位置 X_d に追従するように加工ローラ5を位置制御する。
- [0024] 図3は、成形加工中における制御の概要を示す図である。力センサ8によって加工ローラ5に作用する加工力 F を検出し、力座標変換により成型型3の側面に対する法線方向の成分 F_n を求める。法線方向成分の実測値 F_n と加工ローラ5の押し付け力の目標値 F_{nd} との偏差を抽出し、力制御則に基づいて直動テーブル6の駆動力 T_f を計算する。
- [0025] 一方、直動テーブル7の変位センサ信号から成型型3の回転軸方向に関する加工ローラ5の実測位置 X を求める。加工ローラ5の目標位置 X_d と実測位置 X との偏差を抽出し、直動テーブル7の位置制御のための駆動力 T_p を計算する。
- [0026] 以上により加工ローラ5は成型型3の回転軸方向には目標位置指令 X_d に従って運

WO 2005/056210

5

PCT/JP2004/017869

動しつつ、適正な目標押し付け力 F_{nd} でワーク1を成型型3に押し付け、成型型3の断面形状が円形でない場合にも、成型型3に沿ってワーク1を成形することができる。

[0027] ところで、本発明の方法及び装置では、加工ローラ5は成型型3の断面形状の半径方向変動に応じて前進あるいは後退するから、加工ローラ5の応答速度によって成型型3の回転速度の上限が決まり、加工の速度が限定される。

[0028] しかし、成型型3の断面形状によっては半径方向の変動が大きい部分とそうでない部分がある場合もあり、それに応じて成型型3の回転速度を可変とすることにより全体の加工速度を改善することができる。

[0029] 例えば、図4の成型型3において、回転軸に直交する断面形状9を考えた場合、加工ローラ5の半径方向の送り量にはほとんど変化しない区間10と大きく変化する区間11がある。そこで前者については成型型3の回転速度を速くし、一方で後者については加工ローラ5の応答速度が追いつくように成型型3の回転速度を遅くすることで、全体としては加工時間を短縮することができる。

[0030] スピニング加工においては一般に成型型3の一回転当たりの加工ローラ5の回転軸方向送りは非常に小さい。したがって、現時点で加工ローラ5がワーク1に接している断面形状9と成型型3の一回転前の断面形状9'はほぼ同じと考えることができる。

[0031] そこで、加工中の加工ローラ5の運動を、主軸モータ4の角度センサと直動テーブルの変位センサを用いて計測し、成型型3の回転角に対する加工ローラ5の変位・速度・加速度という形式で記憶しておく。

[0032] 成型型3の一回転前の時点からの加工ローラ5の運動(速度・加速度など)から、現時点で加工ローラ5がワーク1に接している点の付近の成型型3の形状を推測し、それに応じて成型型3およびワーク1を回転させる主軸モータ4の回転速度を調整すれば、常に適切な速度で加工を行える。

[0033] この方法及び装置で用いるのは成型型3の約一回転分の加工ローラ5の運動データのみであり、必要なメモリ容量は製品全体の3次元形状データと比べてはるかに少ない。またリアルタイムで加工を行いながら加工ローラ5の運動を記憶するため、加工前に成型型3の計測を行う必要も生じない。

[0034] 成形前のワーク1は平板状であるため、半径方向に加工ローラ5の押し付け力制御

WQ 2005/056210

6

PCT/JP2004/017869

を行った場合、どのように加工を開始するかが問題となる。そこで、図5のような形状の成型型3を用いる場合、型の前面から連続した形状の治具2を用い、治具2と成型型3の間にワーク1を挟んで固定する。最初は加工ローラ5を押し付け力制御によって治具2に押し付け、成型型3の回転軸方向に加工ローラ5を送ってゆけば、ワーク1の加工をスムーズに開始することができる。

[0035] (実験例)

以上の本発明に係るスピニング加工方法及び装置について、その実証のために実験を行ったので、以下に説明する。この実験で使用した実験装置を図6に示す。この実験装置は、上記実施例1に示したものと基本的に同じ構成であるが、加工ローラ20が、x軸、y軸方向にそれぞれのモータ21、22で移動できる。成型型23(マンドレル)に対する加工ローラ20の角度等の設定条件は、下記において説明する。

[0036] このx軸、y軸の直動送りにはそれぞれサーボモータ21、22によりボールねじを駆動している。減速機付サーボモータ24により成型型23(θ 軸)を回転させる。 θ 軸はx軸に対し 60° 傾けて取り付けである。

[0037] 加工ローラ20は直径70mm、加工ローラ丸み半径9.5mmである。加工ローラ20とy軸の間に力センサ25を装着する。

[0038] 非軸対称形状の成型型として、成型型26と成型型28の2種類の形状を用意した。成型型26の形状を図7に示す。円錐台の側面4カ所を切断し、平面とした。回転軸に直交する断面は円弧と直線で構成され、非軸対称形状である。ブランク29は直径120mm、厚さ0.78mmのアルミニウム円板(A1050-O材)である。

[0039] 加工ローラ20の送り速度 V_x は0.0177mm/sec、成型型の角速度は7.5rpmである。一回転あたりの送りピッチは $\Delta X=0.141$ mmとなる。加工方法はしごきスピニング(加工ローラ20を成型型に沿って1パスで送り、ワーク29をしごくように成形する方法)とした。加工ローラ20の制御には数式1のような制御則を用いた。

[0040] [数1]

WO 2005/056210

7

PCT/JP2004/017869

$$f = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} = f_P + f_F$$

$$f_P = MJ^{-1} \begin{bmatrix} k_{vX} (V_{Xd} - V_X) + k_{pX} (V_{Xd} - X) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$f_F = J^T \begin{bmatrix} 0 \\ cF_{nd} + k_{pF} (F_{nd} - F_n) + k_{iF} \int (F_{nd} - F_n) dt \end{bmatrix}$$

ただし、 f_x , f_y はアクチュエータ駆動力、 V_X は加工ローラ20の送り速度、 V_{Xd} は加工ローラ20の送り速度の目標値、 F_n は加工ローラ20の押し付け力、 F_{nd} は加工ローラ20の押し付け力の目標値、 M はアクチュエータ慣性行列、 J はアクチュエータ座標とXY座標間の変換行列、 c は正の定数、 k_{vX} , k_{pX} , k_{pF} , k_{iF} はフィードバックゲインである。

- [0041] 加工ローラ20の押し付け力 F_n は400〜450Nとした。ただし F_n の方向は円弧部分を加工している際の法線方向(回転軸に対して45° 方向)に固定した。回転軸に平行なX方向、回転軸に直交するY方向の加工ローラ変位を図8に示す。X方向については成型型側面の起伏に関らずほとんど変動せず、一定速の加工ローラ送りが実現されている。
- [0042] 一方でY方向については成型型に倣って加工ローラ20が前後に移動している。成型型の回転軸を基準として加工ローラ中心位置までの距離をプロットしたものを図9に示す。成型型断面形状に沿って加工ローラ20が動いていることがわかる。
- [0043] $F_n = 400N$ の時に加工ローラ20がワーク29に加える加工力を図10に示す。 F_n は成型型側面に対する法線方向の成分、 F_t は成型型側面に平行な方向の成分、 F_z は成型型回転円周の接線方向の成分である。 F_t , F_z は、特に加工ローラが成型型側面の平面部分を通過する時にかなり大きく変動する。これは平面部分では加工ローラと成型型側面が斜めに接触し、しかも、その角度が変化するためである。加工ローラの押し付け力 F_n にも多少の変動は見られるが、力制御により、おおむね400N前後に保たれている。
- [0044] 図11に成型型26(図中左)及び成形された製品(図中右)の写真を示す。円錐を切断した平面部分も成型型の形状の通りに成形される。フランジもほぼ平面のまま

ある。レーザ変位計を用いて平面部分の成形型側面形状と成形品の外形を比較し、この結果を図12に示す。スプリングバック(弾性による成形後の戻り)は比較的小さく、成形品は成形型に密着している。

- [0045] 成形品の肉厚は曲面部分で0.55〜0.56mm、平面部分で0.44〜0.46mmである。しごきスピニングの場合、成形型側面の回転軸に対する傾きを α 、元のブランクの厚さを t_0 とおくと、成形後の製品肉厚 t は、 $t = t_0 \sin \alpha$ となる。曲面部分では $\alpha = 45^\circ$ 、平面部分では $\alpha = 35^\circ$ であるから、この式より計算された肉厚はそれぞれ0.55mm、0.45mmであり、実際の肉厚とよく一致している。
- [0046] 別の成形型28の形状を図13に示す。円錐半角 30° の円錐を 10° 傾けて頂部と底部を切断した形である。形状としては傾斜軸かつ偏心で、主軸に直交する断面は楕円形となる。成形型側面の主軸に対する傾きは最大 40° 、最小 20° となる。
- [0047] この成形型28を用いて、加工条件のうち加工ローラ20の押し付け力 F_n と送りピッチを変化させて成形を行い、成形の可否を調べた(図14)。成形型回転数はいずれも15rpmである。図中で○印は成形に成功した場合を表す。×印では 20° 側の壁面に破断が生じる(図15)。また△印では 40° 側のフランジにしわが発生した場合を表す。
- [0048] 加工ローラ20の押し付け力を強めることで、同じ回転数及び送りピッチのもとでも破断やしわの発生を防げる。図16に成形に成功した製品と成形型28の写真を示す。
- [0049] レーザ変位計を用いて 20° 側及び 40° 側の成形型側面形状と成形品の外形を比較した(図17)。加工パラメータは、押し付け力:500N、送りピッチ:0.1mm/revである。 20° 側の壁面では頂部付近でやや成形型からの浮き上がりが見られ、一方 40° 側の壁面では底部付近で多少のスプリングバックが見られるものの、全体としてはおおむね成形型の形状に従った成形が行われている。
- [0050] 成形品の肉厚は 40° 側の側面では0.50〜0.52mmである。 $t = t_0 \sin \alpha$ の式より計算された肉厚は0.50mmであるから実際の肉厚とほぼ一致している。一方、 20° 側の肉厚は頂部付近で0.30〜0.35mm、フランジ付近では0.20〜0.22mmであった。
- [0051] 破断を防ぐためのもう一つの方法として、2パスの成形も試みた。はじめに半角 45° のしごきスピニングを成形型に接触しない状態で途中まで行い、成形型よりもやや大

WO 2005/056210

9

PCT/JP2004/017869

きい円錐台形状の中間製品を作る。次に力制御により加工ローラ20を押し付けて成形型に倣った形状に仕上げる(図18)。

[0052] 成形型回転数/加工ローラ送りピッチは、1パス目では240rpm/0.05mm、2パス目では30rpm/0.2mmとした。2パス目の加工ローラ押し付け力を $F_n = 400\text{N}$ としたが、1パスでの成形とは異なり破断は生じなかった。

[0053] またこのときの成形品の肉厚は、20°側の頂部付近で0.47〜0.50mm、フランジ付近では0.32〜0.35mm、また40°側の頂部付近で0.52〜0.55mm、フランジ付近では0.50〜0.52mmとなった。以上が実施例1の実験例である。

[0054] (加工時間の短縮について)

本発明に係るスピニング加工方法及び装置により、非軸対称形状の成形を実用化する上で、加工時間の短縮は最も重要な課題の一つである。加工時間は(製品高さ)÷(成形型一回転当たりの加工ローラ送りピッチ)÷(単位時間の成形型回転数)で表される。非軸対称形状の成形では軸対称の場合よりも成形型回転数をかなり低くする必要があり、それが加工時間増加の原因となる。

[0055] 非軸対称形状の成形では、加工ローラ20は成形型の断面形状に倣い、成形型の回転に従って前進/後退を繰り返す。しかし、回転数が過大になると加工ローラ20の運動が成形型断面の凹凸に追いつかなくなり、力制御による応答が振動的になって製品の表面が波打ったり、ワーク29の押し付けが不足して製品が成形型から浮き上がる原因となる。上記実験装置の場合、加工条件の設定にも依存するが、成形型26では約15rpm、成形型28では約30rpmを超えたらこうした現象が見られた。

[0056] 成形型26および成形型28は、いずれも頂部付近の断面が円形あるいは円形にきわめて近い楕円形である。そのため、これらを用いた加工を観察すると、加工開始直後は加工ローラ20の成形型断面形状に倣った運動の振幅が小さく、加工ローラ20を駆動するモータの回転数やトルクにはかなりの余裕が見られる。したがってこうした部分を加工する際には成形型の回転速度をさらに上げることが可能と考えられる。

[0057] それに対して、成形型26、28の底部付近の加工では、成形型断面の凹凸あるいは偏心が大きくなるため、加工ローラ20は大きな振幅で運動する。こうした部分の加工においては、加工ローラ20が成形型形状に追従できなくなるために問題が生じや

WO 2005/056210

10

PCT/JP2004/017869

すい。ここでは成形型の回転速度を十分低く抑える必要がある。

[0058] 加工ローラ20の力制御を用いたしごきスピニングでは、加工特性は加工ローラ20の押し付け力と送りピッチでほぼ決定される。そこで押し付け力 F_n と送りピッチ ΔX は一定とし、成形型の回転速度 $\omega = d\theta / dt$ のみを加工ローラ20の位置変動に応じて調整する。

[0059] 加工ローラ20の送り速度 V_X は、次の数式2とする。

[0060] [数2]

$$V_X = \Delta X \omega / 2\pi$$

[0061] 加工ローラ20が y 方向に大きく動く部分では成形型の回転速度を抑えながら、加工ローラ20の動きが小さく速度に余裕のある部分では成形型回転速度を上げて、全体として加工時間を短縮する。

[0062] 成形型回転速度の具体的な調整則として、次の数式3のような関係を成り立たせることを考える。

[0063] [数3]

$$V_Y^2 + K\omega^2 = V$$

[0064] ここで、 ω は成形型回転角速度、 V_Y は成形型回転軸に垂直な方向の加工ローラ速度、 K 、 V は正の定数である。上式は無次元化されたアクチュエータ空間において接線速度一定を意味する。ところで加工ローラ20は回転する成形型と接しているから、その変位は θ の関数として $Y(\theta)$ と表される。したがって、次の数式4が成り立つ。

[0065] [数4]

$$V_Y = \frac{dY}{d\theta} \omega$$

[0066] $dY/d\theta$ は成形型の断面形状で決定され、成形型の回転によって生ずる加工ローラ位置 Y の変動を表す。数式4を数式3に代入して、次の数式5となる。

[0067] [数5]

$$\left\{ \left(\frac{dY}{d\theta} \right)^2 + K \right\} \omega^2 = V$$

WO 2005/056210

11

PCT/JP2004/017869

[0068] したがって、成形型の回転速度は、次の数式6とすればよい。

[0069] [数6]

$$\omega = \sqrt{V / \left\{ \left(\frac{dY}{d\theta} \right)^2 + K \right\}}$$

[0070] すなわち、加工ローラ位置の変動 $dY/d\theta$ が大きくなるほど成形型の回転速度 ω は低下する。成形型の断面が円形で加工ローラ位置 Y が変動しないとき ($dY/d\theta = 0$)、成形型の回転速度は最大値をとる。 K は正規化のための係数であるから、例えば各モータが定格回転数の時の VY , ω をもとに決定できる。

[0071] また、成形型の最大回転数を ω_{MAX} とするには、 V を次の数式7とすればよい。

[0072] [数7]

$$V = K \omega_{MAX}^2$$

[0073] 次に、 $dY/d\theta$ としてどんなデータを用いるかを考える。数式4は次の数式8のように表される。

[0074] [数8]

$$\frac{dY}{d\theta} = \frac{VY}{\omega}$$

[0075] よって、加工中の VY , ω を実測すれば実時間で $dY/d\theta$ を知ることができる。一般に、加工ローラ20の回転軸方向の送りは非常に小さいから、成形型1回転分の $dY/d\theta$ を記録すれば、成形型断面に関する形状データがほぼ得られる。

[0076] 成形型の回転速度を比較的緩やかに変化させるため、ここでは $(dY/d\theta)^2$ の1回転分(現時点から1回転前まで)の平均値 $|(dY/d\theta)^2|$ を求め、それを数式6に代入して成形型の回転速度を求めた。

[0077] この方法で用いるのは $(dY/d\theta)^2$ の成形型1回転分のデータのみであり、必要なメモリ容量は成形型全体の3次元形状データと比べてはるかに少ない。また実時間で加工を行いながらデータを取得するため、加工前に計測を行う必要も生じない。

[0078] 上記のような成形型回転速度の調整則を用いて成形型28による加工実験を行った。ただし加工ローラ20の送り速度 Vx は成形型回転速度に比例して変化する。加工ロ

WO 2005/056210

12

PCT/JP2004/017869

ーラ20の押し付け力は480N、送りピッチは0.1mm/revとした。

- [0079] 図19に頂部から(a)5mm、(b)20mmの位置を加工しているときの加工ローラ20の速度を示す。成形型回転数は(a)では64.3rpm、(b)では16.0rpmと自動的に調整されている。加工ローラ20の位置変動の幅は(b)の方が大きい、成形型回転速度の変化により加工ローラ速度のピーク値はともに±0.01m/sec程度に抑えられている。また、精度や肉厚など成形された製品の品質は成形型を一定速度で回転させた場合と変わらないことも確認した。
- [0080] 図20に加工開始時から終了時までの成形型回転速度の変化を示す。全体の加工時間は569.6secかかっている。このとき、最小の回転速度(13.2rpm)で最初から最後まで一定速度で成形型を回転させたとすると加工時間は1100.6secかかる。したがって、この例では本方法の採用により加工時間は約半分にまで短縮されている。
- [0081] 以上の実験により、金属薄板のスピニング加工において、位置／力ハイブリッド制御を用いて加工ローラ20を成形型形状に倣わせることにより、非軸対称形状の製品が成形できることを確認した。また成形型回転速度を調整して加工時間を短縮する手法を提案し、その効果が確認できた。
- [0082] 以上本発明に係るスピニング加工方法及び装置を実施するための最良の形態を実施例に基づいて説明したが、本発明はこのような実施例に限定されることなく、特許請求の範囲記載の技術的事項の範囲内でいろいろな実施の態様があることは言うまでもない。

産業上の利用可能性

- [0083] 本発明に係るスピニング加工方法及び装置は、断面形状が多角形、楕円など円形ではない製品のスピニング加工が可能であるから、金属板を素材とする製品の成形加工法として、タンク底板、エンジン部品、装飾工芸品、照明器具などの部品、製品の製造に広く適用可能である。

図面の簡単な説明

- [0084] [図1]本発明のスピニング加工方法を行う装置の実施例の概略図である。
[図2]加工ローラに作用する加工力を示す図である。
[図3]成形加工中における制御の概要を示す図である。

WO 2005/056210

13

PCT/JP2004/017869

[図4]製品の断面形状と半径方向送り量を示す図である。

[図5]加工開始時の治具の機能を説明する図である。

[図6]本発明に係るスピニング加工方法及び装置の実証のための実験装置を示す図である。

[図7]実験に使用した成形型の1つを示す図である。

[図8]実験で得られたグラフ(回転軸に平行なX方向、回転軸に直交するY方向の加工ローラ変位)を示す図である。

[図9]実験で得られたグラフ(成形型回転軸を基準として加工ローラ中心位置までの距離をプロットしたもの)を示す図である。

[図10]加工ローラが素材に加える加工力を示す図である。

[図11]成形型26及び成形された製品の写真を示す図である。

[図12]レーザ変位計を用いて平面部分の成形型側面形状と成形品の外形を比較した結果を示す図である。

[図13]実験で使用した別の成形型の形状を示す図である。

[図14]加工ローラの押し付け力 F_n と送りピッチを変化させて成形を行い、成形の可否を調べた結果を示す図である。

[図15]製品の写真を示す図である。

[図16]成形に成功した製品と成形型28の写真を示す図である。

[図17]レーザ変位計を用いて20°側及び40°側の成形型側面形状と成形品の外形を比較した結果を示す図である。

[図18]2パスの成形を示す図である。

[図19]頂部から(a)5mm、(b)20mmの位置を加工しているときの加工ローラの速度を示す図である。

[図20]加工開始時から終了時までの成形型回転速度の変化を示す図である。

符号の説明

[0085]

1、29 ワーク

1a ワーク初期形状

WO 2005/056210

14.

PCT/JP2004/017869

1b ワーク最終形状

2 治具

3、23、26、28 成形型

4、21、22、24 モータ

5、20 加工ローラ

6、7 直動テーブル

8 力センサ

9、9' 成形型断面

10 半径方向の送り量が変わらない区間

11 半径方向の送り量が大きく変化する区間

25 6軸力センサ

27 減速機

請求の範囲

- [1] 回転する成形型に板材のワークを加工ローラで押し付けて成形加工を行うスピニング加工において、
前記加工ローラに装着した力センサからのフィードバック信号により前記加工ローラのアクチュエータを駆動して前記加工ローラの押し付け力を制御し、成形型の断面形状に倣って前記ワークを成形することにより、回転軸に直交する断面の形状が円形ではない製品をも成形可能とすることを特徴とするスピニング加工方法。
- [2] 前記成形加工中の前記加工ローラの運動を記憶し、前記成形型の一回転前の時点からの前記加工ローラの運動に基づいて前記加工ローラが前記ワークに接している点の付近の成形型形状を推測し、それに応じて前記成形型を回転させるモータの回転速度を調整して加工を行うことを特徴とする請求項1記載のスピニング加工方法。
- [3] 前記成形型の前面と連続した形状の治具を用いて、該成形型と前記治具の間に前記ワークを挟んで固定し、最初に加工作ローラを治具に押し付けながら前記成形型の回転軸方向に前記加工ローラを送ることにより、前記ワークの加工をスムーズに開始することを特徴とする請求項1記載のスピニング加工方法。
- [4] 力センサが装着された加工ローラと、該加工ローラを駆動するアクチュエータとを備えており、前記アクチュエータで加工ローラを駆動して板材のワークを回転する成形型に押し付けて成形加工を行うスピニング加工装置において、
前記アクチュエータは、前記力センサからのフィードバック信号により前記加工ローラの押し付け力を制御し、前記加工ローラが、前記成形型の断面形状に倣って前記ワークを成形し、前記成形型の回転軸に直交する断面の形状が円形ではない製品をも成形可能とする構成であることを特徴とするスピニング加工装置。
- [5] 前記成形加工中の前記加工ローラの運動は記憶され、前記成形型の一回転前の時点からの前記加工ローラの運動に基づいて前記加工ローラが前記ワークに接している点の付近の成形型形状を推測し、それに応じて前記成形型を回転させるモータの回転速度が調整される構成であることを特徴とする請求項4記載のスピニング加工装置。

WO 2005/056210

16

PCT/JP2004/017869

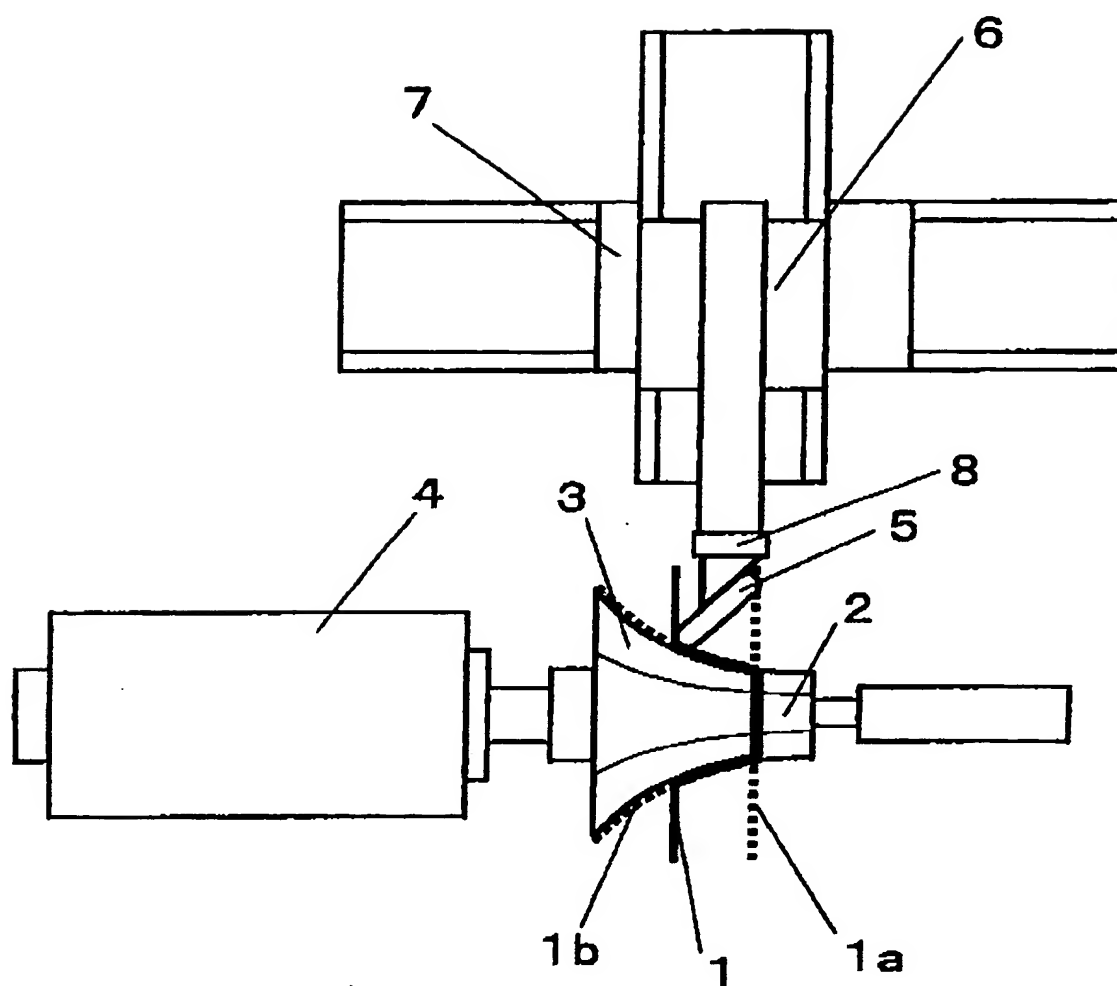
- [6] 前記成型型の前面と連続した形状であり、該成型型との間に前記ワークを挟んで固定することのできる治具が設けられており、最初に前記加工ローラを治具に押し付けながら前記成型型の回転軸方向に前記加工ローラが送られ、前記ワークの加工がスムーズに開始される構成であることを特徴とする請求項4記載のスピニング加工装置。

WO 2005/056210

1/7

PCT/JP2004/017869

[図1]

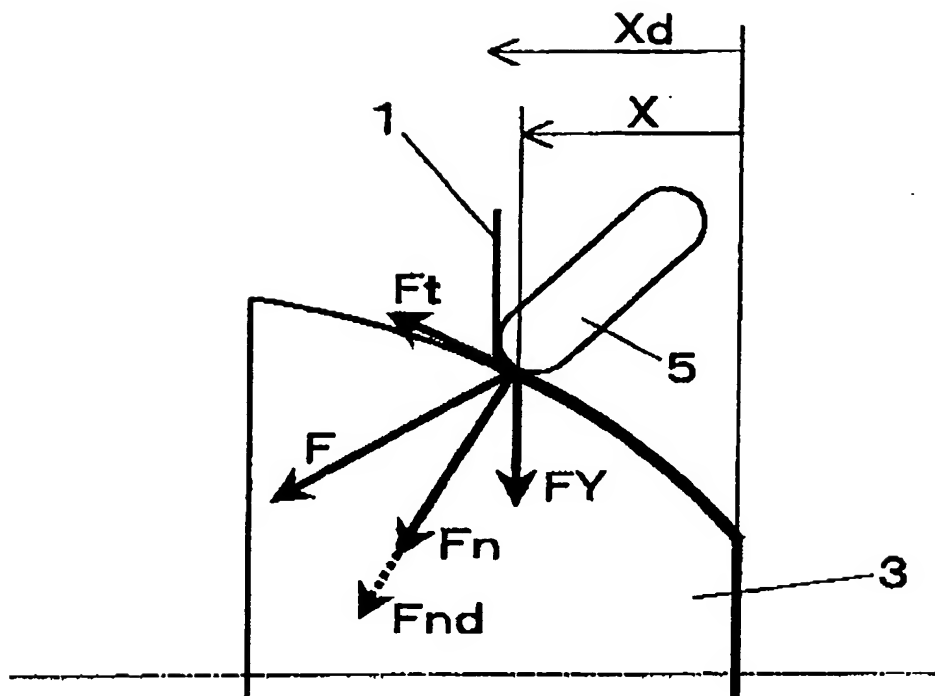


WO 2005/056210

2/7

PCT/JP2004/017869

[図2]

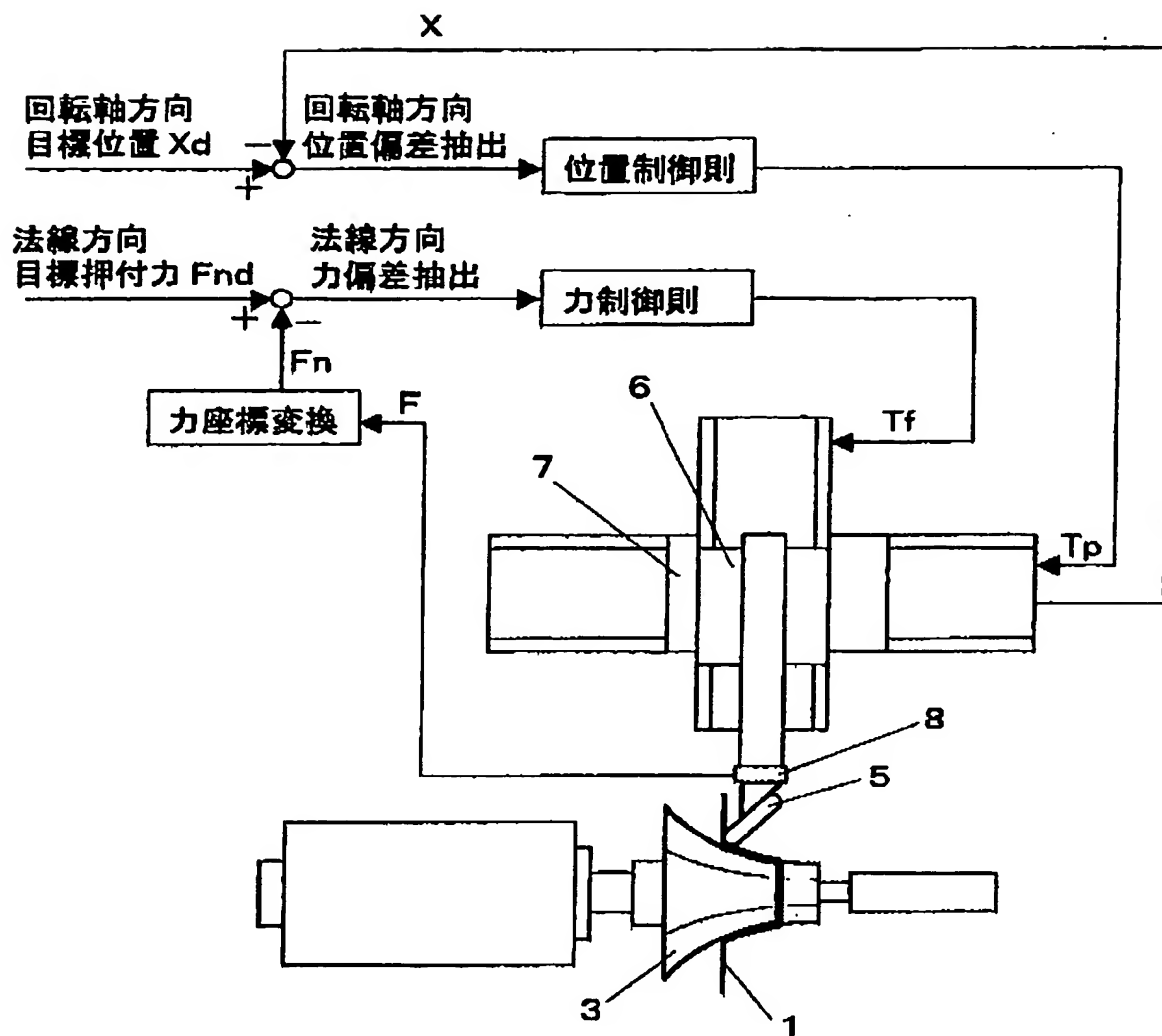


WO 2005/056210

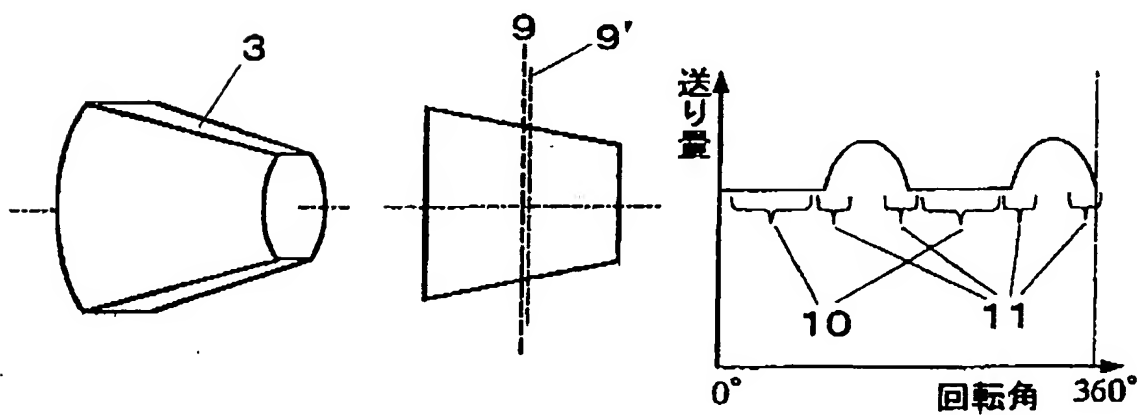
3/7

PCT/JP2004/017869

[図3]



[図4]

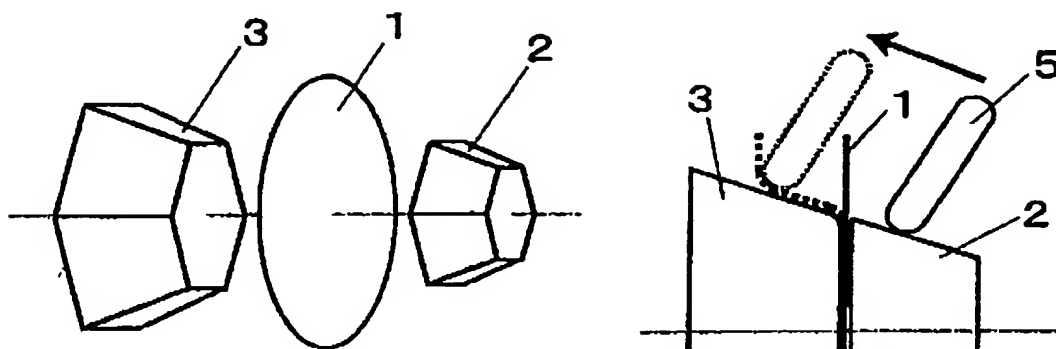


WO 2005/056210

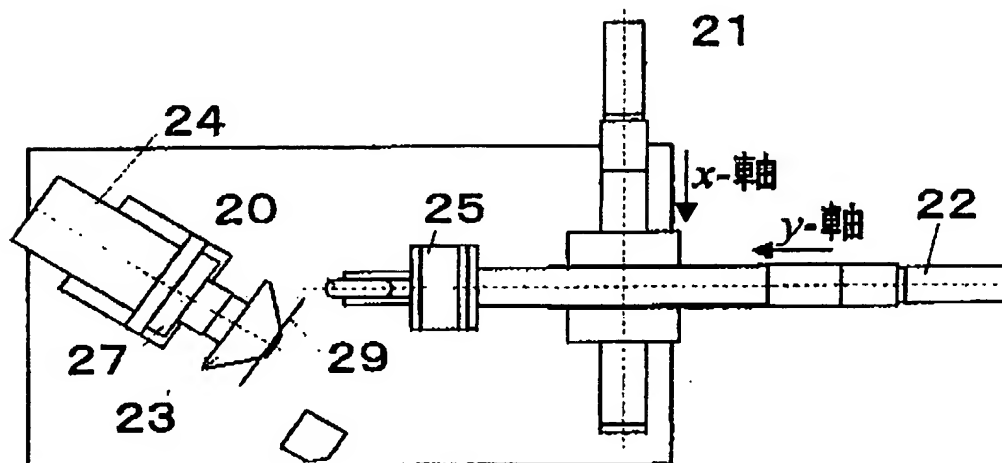
4/7

PCT/JP2004/017869

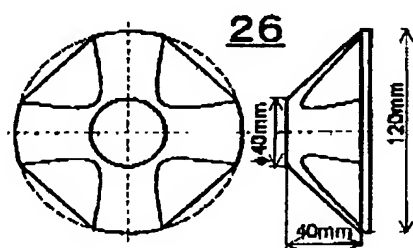
[図5]



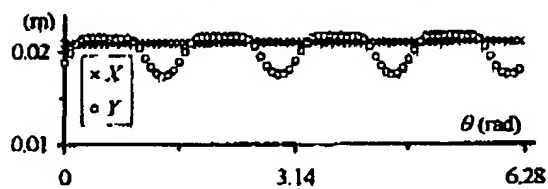
[図6]



[図7]



[図8]

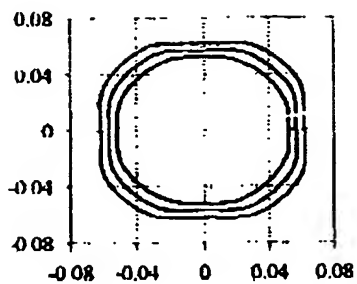


WO 2005/056210

5/7

PCT/JP2004/017869

[図9]



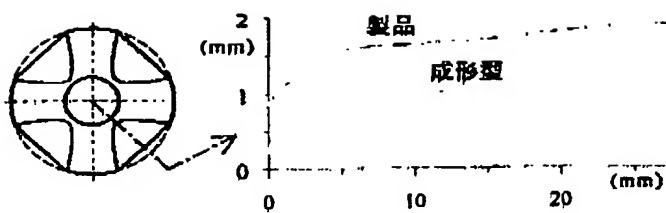
[図10]



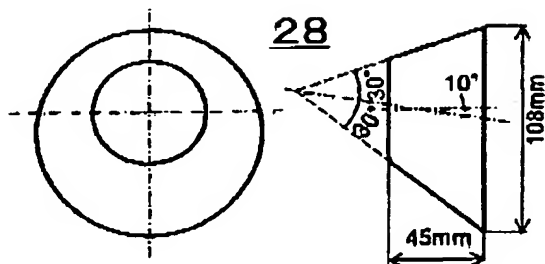
[図11]



[図12]



[図13]

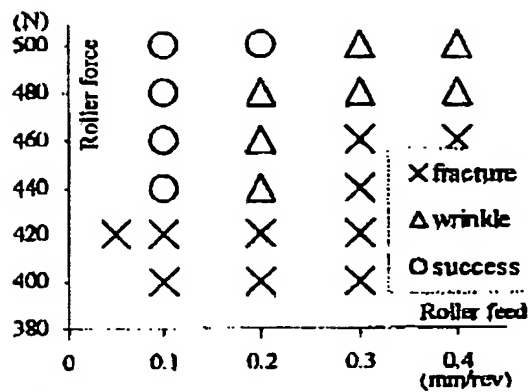


WO 2005/056210

6/7

PCT/JP2004/017869

[図14]



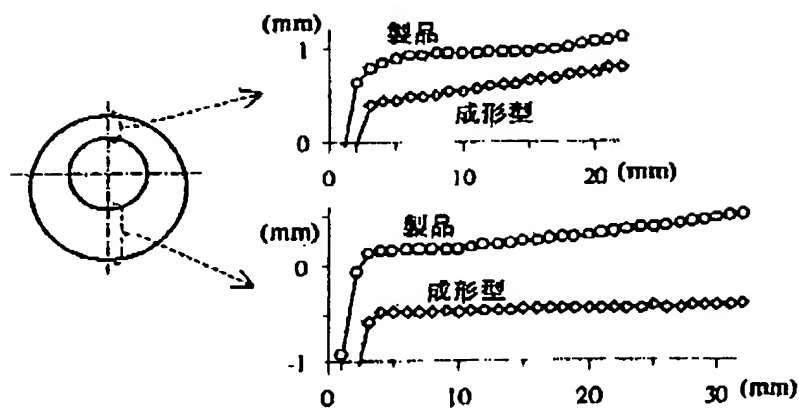
[図15]



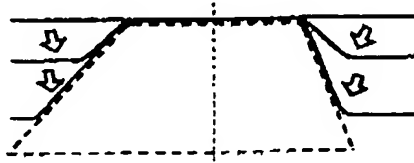
[図16]



[図17]



[図18]

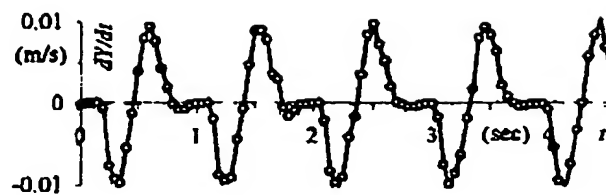


WO 2005/056210

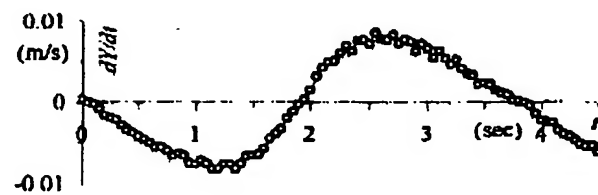
7/7

PCT/JP2004/017869

[図19]

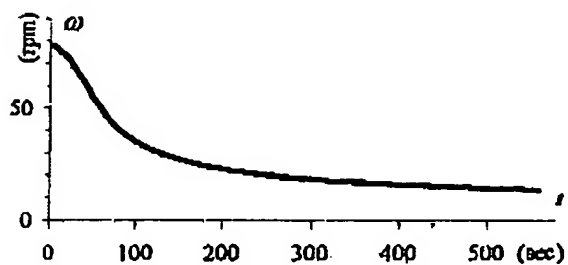


(a)



(b)

[図20]



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.